ISTITUTO CHIMICO AGRARIO SPERIMENTALE
DI
GORIZIA

SERIE 2ª DEI NUOVI ANNALI
PUBBLICAZIONE N. 34

RENZO CANDUSSIO E MARIA VISINTINI ROMANIN

RICERCHE SUL FOSFORO DEI TERRENI DELLA PIANURA FRIULANA

Forme di fosforo nei terreni ferrettizzati

ISTITUTO CHIMICO AGRARIO SPERIMENTALE
DI
GORIZIA

SERIE 2ª DEI NUOVI ANNALI
PUBBLICAZIONE N. 34

RENZO CANDUSSIO E MARIA VISINTINI ROMANIN

RICERCHE SUL FOSFORO DEI TERRENI DELLA PIANURA FRIULANA

Forme di fosforo nei terreni ferrettizzati

RENZO CANDUSSIO E MARIA VISINTINI ROMANIN

RICERCHE SUL FOSFORO DEI TERRENI DELLA PIANURA FRIULANA

FORME DI FOSFORO NEI TERRENI FERRETTIZZATI

Nell'assorbimento radicale degli elementi nutritivi in un sistema pianta-terreno si possono distinguere almeno quattro fasi attive (28):

nel terreno: 1) una fase solida; 2) una fase di soluzione o di ionizzazione e di successivo avvicinamento alle radici della pianta;

nella pianta: 3) una fase di penetrazione nei tessuti assorbenti radicali; 4) una fase di trasporto fino agli organi di utilizzazione.

L'assorbimento del fosforo può essere perciò sintetizzato dal seguente schema:

P solido nel terreno $\rightleftarrows$ P in soluzione $\rightleftarrows$ (P nelle vicinanze delle radici) $\rightleftarrows$ P nelle radici $\rightleftarrows$ P nei tessuti della pianta.

La disponibilità di fosforo per le piante dipende dalla quantità e dalla velocità di passaggio di ioni fosfatici dalla fase solida alla fase liquida del terreno (*).

La natura chimica e lo stato fisico e mineralogico delle forme di fosforo presenti in un terreno sono i fattori maggiormente responsabili nella determinazione dei rapporti intercorrenti fra fase solida e fase liquida del fosforo e di conseguenza della sua disponibilità per le colture.

Il fosforo solubile aggiunto a un terreno può venir fissato dal terreno stesso mediante due tipi predominanti di reazioni (5): reazioni di adsorbimento e reazioni di precipitazione.

L'adsorbimento può essere effettuato: 1) dai colloidi umici che possono anche agire da protettori nelle reazioni di precipita-

(*) Islam (1955, 1956) (34) (35) ha emesso l'ipotesi che le piante possano assumere ioni fosfatici direttamente dalla fase solida del terreno per mezzo di un meccanismo di scambio per contatto simile a quello proposto da Jenny e Overstreet (37) per i cationi. Precedentemente (1945) Dean e Rubins (23), con una impostazione sperimentale simile a quella di Islam, avevano invece concluso che l'assorbimento del fosforo da parte delle piante avviene sempre per il tramite della fase liquida. È questo il punto di vista ora più generalmente accettato.

zione dei fosfati col calcio; 2) dai colloidi argillosi che intervengono nella reazione di adsorbimento sia per mezzo dei cristallini argillosi (fissazione alluminica) sia per mezzo di ioni Ca scambiabili (fissazione calcica) dell'atmosfera ionica intorno alle particelle argillose; 3) dal calcare, il cui potere di adsorbimento è in funzione della grossezza dei granuli (1); 4) dagli ossidi idrati metallici, specialmente di Fe e Al, il cui potere adsorbente è dovuto alla loro carica positiva.

Le reazioni di precipitazione dei fosfati con il Fe e l'Al possono aver luogo soltanto quando nel terreno sono disponibili ioni Al e Fe. Tale disponibilità è regolata dalla concentrazione idrogenionica: diminuisce con l'aumentare del pH del terreno. Quando nel terreno l'aumento del pH è originato da composti di calcio ($Ca[OH]_2$, $CaCO_3$, ecc.) subentrano altre varie reazioni possibili nel sistema $H_3PO_4 - CaCO_3 - H_2O$.

Il pH del terreno pertanto controlla l'evoluzione dei fosfati idrosolubili o verso forme legate preferibilmente al Fe e all'Al oppure verso forme legate preferibilmente al Ca.

Un quadro schematico delle trasformazioni dei fosfati in rapporto alle variazioni di pH è illustrato dalla figura 1.

Oltre ai due tipi predominanti di reazioni testè accennati si possono verificare altre due modalità di fissazione del fosforo: fossazione per metatesi e fissazione biologica.

La metatesi consiste nella sostituzione isomorfa con fosfati dei silicati nei reticoli cristallini dei minerali delle argille (22). Il fenomeno non è stato ancora perfettamente chiarito nel suo intimo meccanismo (40).

Secondo Low e Black (42) la sostituzione isomorfa dei tetraedri di silicio con tetraedri di fosforo rappresenterebbe il primo stadio di un fenomeno, da essi chiamato «fosfatolisi», consistente in una dissoluzione dei minerali delle argille, per opera di soluzioni fosfatiche, con liberazione di silice e di Al e conseguente fissazione del fosforo che precipita sotto forma di fosfato di Al (*).

La fissazione biologica (escluso l'assorbimento radicale delle piante), di variabile entità a seconda di determinanti fattori influenzanti l'attività microbiologica dei terreni, consiste nella tra-

(*) La fosfatolisi dell'illite (minerale argilloso predominante nei terreni ferrettizzati) è stata recentemente studiata da Malquori Radaelli e Cecconi nell'aspetto della mobilitazione del potassio illitico (45) e del NH_4 fissato negli interspazi reticolari (46).

sformazione metabolica (organicazione) dei fosfati minerali in composti fosforati organici operata dai microrganismi del terreno.

Il grafico della figura 2 illustra sinteticamente quanto è stato fin qui esposto e dà una schematica visione dei possibili raggruppamenti di forme della P_2O_5 dei terreni.

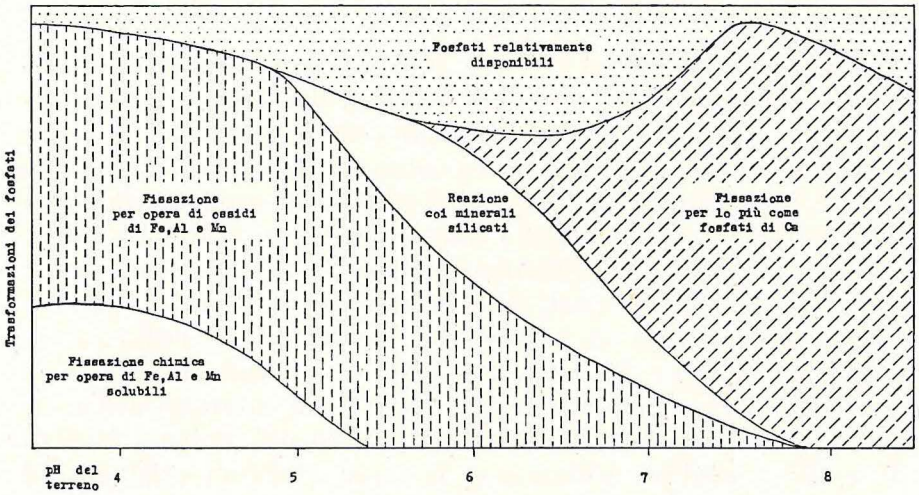


Fig. 1. - Diagramma schematico indicativo della fissazione inorganica dei fosfati a vari valori pH del terreno. (Ridisegnato da Buckman, H. O., Brady, N. C., «The nature and properties of soils». Macmillan Co., New York, 1960, pg. 439)

Allo stato attuale delle conoscenze e delle tecniche di indagine è impossibile effettuare un frazionamento del fosforo nelle sue singole varie forme chimiche e mineralogiche presenti in un dato momento nel terreno. Agli effetti edafologici e agronomici è però di evidente interesse anche un frazionamento effettuato per gruppi di forme di diversa solubilità nei vari solventi o di certi definiti legami chimici.

Diversi sono stati i metodi finora proposti o tentati per ottenere il frazionamento del fosforo del terreno.

Nel 1938 Dean (21) distinse tre forme di composti fosfatici: 1) composti organici solubili in NaOH, 2) composti inorganici solubilizzati da una estrazione con NaOH seguita da una estrazione acida, 3) composti insolubili nei due reattivi precedenti.

Ghani nel 1943 (29) frazionò il fosforo del terreno in cinque gruppi: 1) fosfati solubili in acido acetico (fosfati mono, bi e tricalcici), 2) fosfati inorganici solubili in alcali (fosfati di Fe e di

Al), 3) fosfati organici solubili in alcali, 4) fosfati solubili in acido solforico (fosfati di tipo apatitico), 5) composti insolubili nei reattivi precedenti (facenti parte del complesso argilloso).

Le frazioni distinte da Bray e Dickman (1941) (7) furono quattro: 1) la frazione estratta con NH_4F *0.1 N*; 2) la frazione estratta con NH_4F *0.1 N* + HCl *0.01 N*; 3) la frazione estratta con NH_4F *1 N* neutro; 4) la frazione estratta con NH_4F *0.5 N* + H_2SO_4 *0.002 N*.

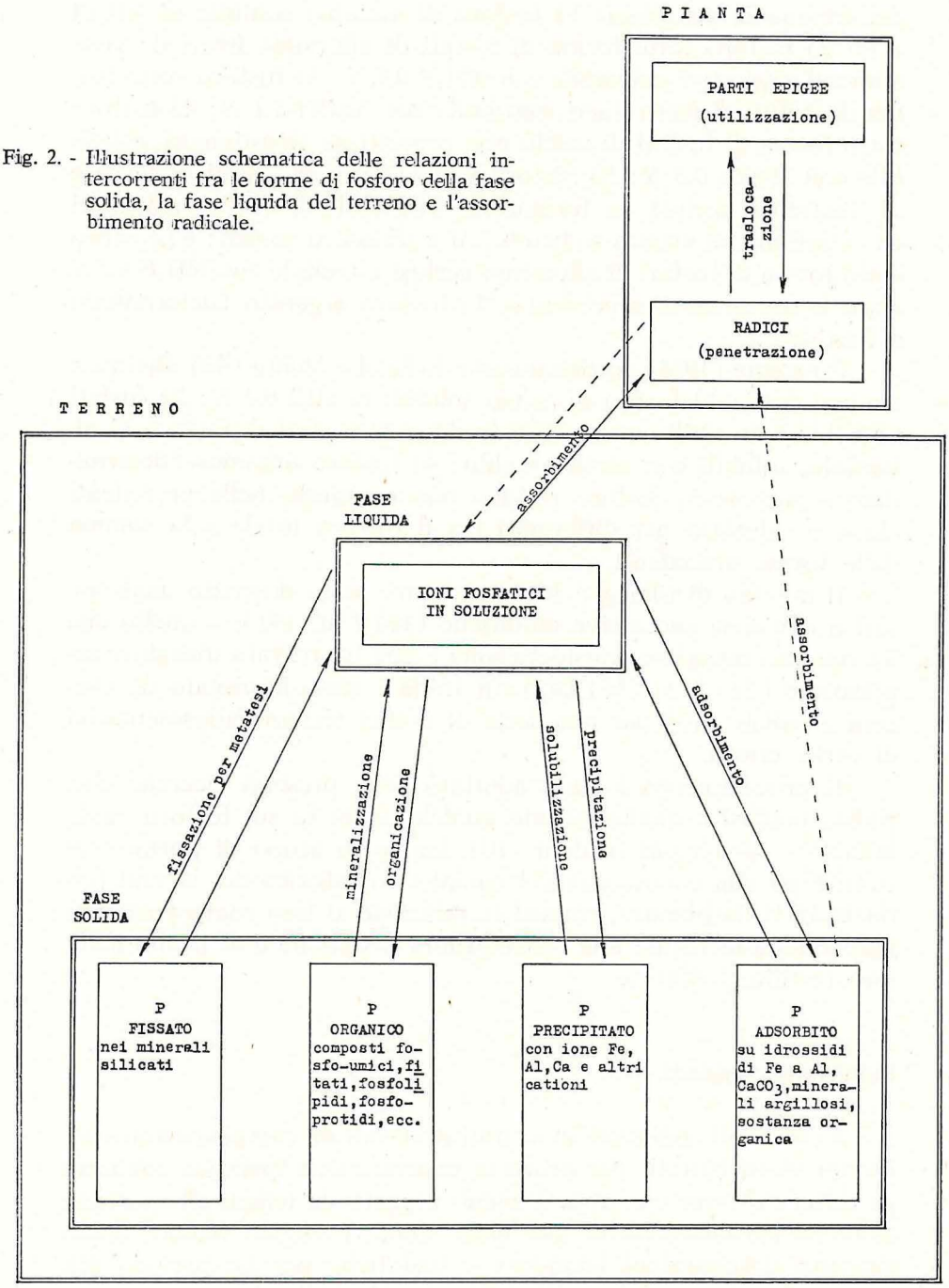
Nel 1945 Chirikov e Volkova (17) cercarono non solo di frazionare il fosforo del terreno ma anche di dare alle varie frazioni un significato agronomico attribuendo a ciascuna di esse un grado di«assimilabilità» mediante prove colturali. Le cinque frazioni da essi distinte furono: 1) la frazione solubile in acqua carbonicata (fosfati alcalini, fosfati acidi e bifosfati di Ca e di Mg, $Mg_3(PO_4)_2$ e alcune fosforiti); 2) la frazione solubile in CH_3COOH *0.5 N* (in parte apatiti e fosforiti, soli di alcol-fosfati e osi-fosfati); 3) la frazione solubile in HCl *0.5 N* (fosforite, apatite, $AlPO_4$, $FePO_4$, parte dei fosfati di ferro più basici e fitina); 4) la frazione solubile in NaOH *0.2 N* (nucleine, nucleoproteine e simili composti dell'acido umico); 5) la frazione insolubile coi precedenti estraenti (fosfati di titanio e anidride fosforica di minerali inalterati originari del terreno).

Williams (1950) (61) (62) basa il frazionamento su tre gruppi: 1) composti solubili in acido acetico al 2.5% con aggiunta di 8-idrossichinolina all'1% (fosfati idrosolubili; fosfati mono-bi- e tri-calcici; idrossiapatite e carbonatoapatite; fosfati di Mg e di Mn; cloroapatite e fluoroapatite in parte); 2) composti solubili in NaOH *0.1 N* (fosfati adsorbiti, fosfati basici di Fe e di Al, fosfato di Ti, fosforo organico); 3) composti insolubili nei precedenti estraenti (cloroapatite e fluoroapatite in parte, fosforo facente parte dei reticoli cristallini delle argille, minerali di fosforo particolarmente resistenti come il turchese, la monazite e l'ambligonite) (*).

Bhangoo e Smith (1957) (3) distinguono quattro frazioni: 1) composti solubili in HCl *0.1 N* (fosfati di calcio); 2) composti solubili in alcali a freddo dopo l'estrazione fatta con l'HCl precedente (fosforo adsorbito); 3) composti solubili in alcali bollenti dopo le estrazioni precedenti (fosfati di Fe e di Al); 4) composti organici.

(*) In Italia il metodo di Williams è stato recentemente (1958) impiegato da Petrosini (51 bis).

Fig. 2. - Illustrazione schematica delle relazioni intercorrenti fra le forme di fosforo della fase solida, la fase liquida del terreno e l'assorbimento radicale.



Chang e Jackson (1957) (15) frazionano il fosforo inorganico del terreno in sei classi: 1) fosforo di scambio solubile in NH_4Cl *1 N*; 2) fosforo sotto forma di fosfati di alluminio liberi da rivestimenti protettivi, estraibile con NH_4F *0.5 N*: 3) fosforo sotto forma di fosfati di ferro liberi, estraibile con NaOH *0.1 N*; 4) fosforo sotto forma di fosfati di calcio non protetti da rivestimenti, estraibile con H_2SO_4 *0.5 N*; 5) fosforo sotto forma di fosfati di ferro e di alluminio occlusi da formazioni insolubili di Fe_2O_3, riducibili ed estraibili con citrato sodico *0.3 M* e ditionico sodico; 6) fosforo sotto forma di fosfati di alluminio occlusi estraibile con NH_4F *0.5 N* dopo il trattamento precedente; 7) fosforo organico (determinato a parte).

Il recente (1961) frazionamento di Patel e Mehta (48) distingue cinque classi: 1) fosfati di calcio solubili in HCl *0.1 N*; 2) fosfati adsorbiti, estraibili con alcali a freddo; 3) fosfati di ferro e di alluminio, solubili con alcali a caldo; 4) fosforo organico (determinato a parte); 5) fosforo residuo non compreso nelle precedenti classi e calcolato per differenza fra il fosforo totale e la somma delle forme precedenti.

Il metodo di Chang e Jackson, com'è stato descritto dagli autori o con lievi successive modifiche (16) (30) (41), è quello che ha riscosso maggiore considerazione e che ha trovato maggiori applicazioni (12) (13) (16) (43). In Italia è stato impiegato da Cecconi e collab. (12) per una serie di dodici terreni rappresentativi di varia natura.

Il procedimento è stato adottato nelle presenti ricerche che, riallacciandosi a quelle iniziate qualche anno fa sul fosforo «assimilabile» dei terreni friulani (10), hanno lo scopo di portare un contributo alla conoscenza del complesso fosforico dei terreni ferrettizzati della pianura friulana in relazione al loro comportamento agronomico di fronte alle concimazioni fosfatiche e al livello della loro fertilità fosfatica.

Materiali e metodi.

I campioni analizzati sono stati prelevati da campi sperimentali da noi stessi istituiti per prove di concimazione fosfatica condotte su colture diverse e in appezzamenti soggetti da tempo alle normali pratiche agronomiche in uso nella zona. I terreni hanno perciò ricevuto concimazioni letamiche e fosfatiche per un periodo più o meno lungo ma non mai inferiore ai 15 - 20 anni.

Certe variazioni nelle diverse frazioni del fosforo, di seguito messe qui in evidenza, con ogni probabilità sono da mettere in relazione anche ai diversi precedenti agronomici dei terreni campionati. La elaborazione statistica dei dati ci permette in ogni caso di valutare l'attendibilità e la estensibilità dei nostri rilievi.

I terreni presi in considerazione in questa nota appartengono tutti allo stesso tipo pedologico: trattasi di terre ferrettizzate provenienti da antiche alluvioni della media e alta pianura friulana.

Nel Prospetto 1 sono riportati i dati riguardanti le principali caratteristiche fisiche e chimiche dei nostri campioni.

Le prove di campagna, di cui poc'anzi è stato fatto cenno, avrebbero dovuto fornire la necessaria taratura colturale per la interpretazione agronomica dei risultati delle analisi chimiche. Purtroppo tale scopo non è stato pienamente raggiunto a causa di avversità, per lo più di ordine meteorico, che hanno infirmato i risultati delle produzioni di diverse prove di campagna. Nella nota che illustrerà le correlazioni fra i risultati chimico-analitici e quelli agronomico-colturali non potranno pertanto apparire tutti i terreni qui esaminati.

Le analisi chimiche sono state condotte secondo i metodi seguenti:

— calcare totale, calcolato dalla CO_2 svolta con trattamento cloridrico a caldo;

— l'azoto totale, secondo il classico procedimento di Kjeldahl;

— il carbonio organico, secondo il procedimento di Walkley e Black;

— il pH in H_2O, nel rapporto 1 : 5, per via potenziometrica;

— il K_2O solubile in HCl concentrato e bollente, per fotometria di fiamma;

— il K_2O «assimilabile» estratto col reattivo di Morgan, determinato con cobaltinitrito per via sedimetrica;

— la P_2O_5 totale per attacco solfo-fluoridrico, preceduto da cauta calcinazione, secondo il procedimento di Collier (18);

— la P_2O_5 di «riserva accessibile» solubile in HNO_3 concentrato e bollente col procedimento di Lorenz;

— la P_2O_5 «assimilabile» coi metodi di Morgan-Peech e di Bray-Kurtz;

— la P_2O_5 organica col metodo della calcinazione e doppia estrazione con H_2SO_4 *0.2 N* secondo Saunders-Williams (57);

— il frazionamento della P_2O_5 inorganica secondo il procedimento di Chang e Jackson (15) illustrato dallo schema della figura 3. (*)

Risultati e discussione.

Fosforo totale. Al dato di fosforo totale non può essere attribuito alcun significato agronomico non avendo alcuna utilità, o almeno molto scarsa, nella valutazione della fertilità fosforica di un terreno.

La determinazione è stata eseguita con lo scopo di aver un controllo sulla validità dei dati ottenuti coi metodi seguiti.

Effettivamente, come appare dai dati riportati nel Prospetto 2, il fosforo totale ottenuto per somma del fosforo organico e del fosforo inorganico, determinati coi metodi più sopra accennati, si approssima bene al fosforo totale determinato a parte.

Nei terreni ferrettizzati qui considerati il valore medio della P_2O_5 totale è risultato di ppm 1630 ± 79, compreso fra un massimo di ppm 2182 e un minimo di ppm 902.

Fosforo organico. Per la sua determinazione è stato adottato il metodo di Saunders-Williams (57) che si presta bene a determinazioni seriali pur dando valori di sufficiente approssimazione rispetto a metodi più esatti ma di maggiore laboriosità analitica.

Come si rileva dai dati riportati nei Prospetti 2 e 3 la P_2O_5 organica nei terreni ferrettizzati qui esaminati rappresenta una rilevante frazione del fosforo totale. Il valore medio di 61.2% da noi trovato è infatti alquanto elevato rispetto ai valori riportati nella letteratura. I valori estremi citati da Black e Goring, in una revisione della letteratura sull'argomento del fosforo organico del terreno (4), vanno da un minimo del 2.6% a un massimo dell'85% del fosforo totale. È da notare che quest'ultimo valore si riferisce a terreni organico-torbosi. In generale nei terreni di normale coltura il fosforo organico rappresenta una notevole percentuale del fosforo totale. Nel caso nostro il valore minimo non è sceso al di sotto del 39.4% e il massimo ha raggiunto il 76.6%.

Si tratta di percentuali rilevanti di cui non conosciamo la portata agronomica e che hanno destato in noi, per la loro evidente

(*) Lo schema è stato tratto, in parte, dalla pubblicazione: Jackson, M. L. Soil chemical analysis (36).

Prospetto I

Principali caratteristiche fisiche e chimiche dei terreni.

Campione n.	Località dei campionamenti	Sulla terra secca all'aria: Scheletro (> 1 mm) %	Sulla terra secca all'aria: Terra fina (< 1 mm) %	Sulla terra fina (< 1 mm) secca all'aria: Particelle con diam. > 0.02 mm %	Particelle con diam. da 0.02 a 0.002 mm %	Particelle con diam. < 0.002 mm %	pH (in H_2O; 1:5; potenz.) %	Calcare totale (da CO_2) %	Residuo insolubile in HCl conc. boll. %	Carbonio organico (Walkley-Black) %	Azoto totale %	Rapporto C org./N	Sostanza organica N × 20 %	Sostanza organica C × 1.72 %	K_2O sol. in HCl conc. boll. %	K_2O assimilabile (met. Morgan-Peech) mg/Kg
1	Romans d'Isonzo	41.09	58.91	65.30	27.90	6.80	7.70	2.50	79.37	1.77	0.158	11.2	3.16	3.05	0.117	52
2	Farra	38.90	61.10	65.95	28.85	5.20	7.72	1.48	75.90	1.89	0.219	8.6	4.38	3.25	0.200	111
3	Pozzuolo	12.73	87.27	63.85	27.08	9.07	7.30	1.04	68.08	1.28	0.166	7.7	3.32	2.87	0.172	28
4	Pozzuolo Via Risano	56.80	43.20	71.85	23.95	4.20	7.88	13.00	69.22	2.25	0.201	11.2	4.02	3.87	0.095	125
5	Villanova di Farra	48.55	51.45	70.95	22.10	6.95	7.75	1.14	79.13	1.77	0.201	8.8	4.02	3.34	0.200	61
6	Villanova S. Lorenzo	41.36	58.64	60.30	33.70	6.00	7.50	2.80	79.17	1.65	0.175	9.4	3.50	2.84	0.210	83
7	Sammardenchia	19.10	80.90	44.26	40.25	15.49	7.59	1.12	76.12	1.32	0.245	5.4	4.90	2.96	0.201	36
8	Mainizza	31.30	68.70	48.75	41.25	10.00	7.40	3.02	78.24	1.50	0.175	8.6	3.50	2.58	0.230	90
9	Lovaria	31.38	68.62	56.62	33.18	10.20	7.15	0.57	72.92	0.92	0.192	4.8	3.84	2.06	0.218	29
10	Tavagnacco	18.63	81.37	57.25	32.14	10.61	6.85	0.33	71.24	1.53	0.192	8.0	3.84	3.43	0.162	48
11	Codroipo	44.85	55.15	57.65	33.35	9.00	7.31	2.65	78.54	1.36	0.184	7.4	3.68	3.05	0.164	35
12	Moinacco	22.75	77.25	66.75	22.12	11.13	7.68	1.04	76.00	1.42	0.210	6.7	4.20	3.18	0.195	38
13	Lucinico	32.32	67.68	58.25	34.70	7.05	7.25	2.50	78.50	2.16	0.219	9.9	4.38	3.71	0.230	55
14	Mochetta	32.62	67.38	65.55	27.15	7.30	7.60	0.52	79.01	2.28	0.201	11.3	4.02	3.92	0.220	72
15	Zompicchia	32.60	67.40	62.43	29.23	8.34	7.54	1.87	77.22	3.03	0.280	10.8	5.60	6.79	0.159	40
16	Cormóns Bancaria	11.90	88.10	68.80	25.65	5.55	7.80	1.25	79.04	1.62	0.166	9.7	3.32	2.79	0.260	57
17	Cormóns Ziris	28.35	71.65	61.10	33.80	5.10	7.78	1.36	72.04	2.16	0.193	11.2	3.86	3.71	0.125	70
18	Forcate	29.60	70.40	66.79	24.80	8.41	7.14	1.04	69.37	8.57	0.842	10.2	16.84	19.15	0.121	10
	Valore massimo	56.80	88.10	71.85	41.25	15.49	7.88	13.00	79.37	8.57	0.842	11.3	16.84	19.15	0.260	125
	Valore minimo	11.90	43.20	44.26	22.10	4.20	6.85	0.33	68.08	0.92	0.158	4.8	3.16	2.06	0.095	10
	Valore medio	31.93	68.07	61.80	30.07	8.13	7.50	2.18	75.50	2.14	0.234	8.9	4.68	4.23	0.182	58

ampiezza, un particolare interesse di studio. Sono già state impostate apposite ricerche i cui aspetti principali riguarderanno il frazionamento del fosforo organico, la dinamica della sua mineralizzazione, la sua distribuzione in profondità, il potere fitasico dei terreni.

Normalmente si ritiene che le piante assumano il fosforo quasi esclusivamente come ione fosfatico inorganico e, secondo Van den Honert (32), probabilmente soltanto come ione H_2PO_4. In seguito alle ricerche di Spencer e Stewart (1934) (58), di Bertramson e Stephenson (1942) (2), di Mac Intire e coll. (1949) (44), di Bower (1949) (6), di Eid e coll. (1951) (25), di Chaminade (14) e di altri, attualmente si ammette che diversi composti organici fosforati possano essere fonte di nutrimento fosfatico per le piante: sussiste però ancora il dubbio se i composti organici fosforati vengano assorbiti dalle piante tali e quali o se invece debbano prima subire una degradazione chimica che liberi gli ioni fosfatici in essi contenuti.

Anche se esiste da parte delle piante una possibilità di utilizzazione diretta o indiretta del fosforo dei composti organici, rimane però accertato che la forma preferenziale è quella inorganica.

In ogni caso il fosforo organico svolge nel terreno, secondo Williams (63), l'importante e utile funzione di fattore di compensazione e tampone nei riguardi della capacità di fissazione del terreno sostituendo, ma con maggior efficacia, una eguale quantità di fosforo inorganico che viene così a trovarsi a disposizione delle piante.

Secondo Buckman e Brady (9) il fosforo organico, anche se presente in considerevoli quantità nel mezzo di coltura, non soddisferebbe lo stesso le esigenze nutritive fosforate delle piante che, in tale condizione, denuncerebbero chiaramente una deficienza di fosforo.

Ciò non significa che il fosforo organico del terreno non possa contribuire, in modo più o meno rilevante, alla nutrizione fosforica delle colture.

Normalmente i metodi chimici per la valutazione della P_2O_5 così detta «assimilabile» dei terreni non tengono alcun conto della frazione organica da essi estratta. La tecnica del metodo Ferrari (27) prevede la determinazione di una frazione organica estratta con una soluzione acetato-acetica a pH 4.8: ma nel metodo non vien tentata alcuna interpretazione agronomica. In proposito Fabris e Albonico (26) concludono nel seguente modo «Che il fosforo solu-

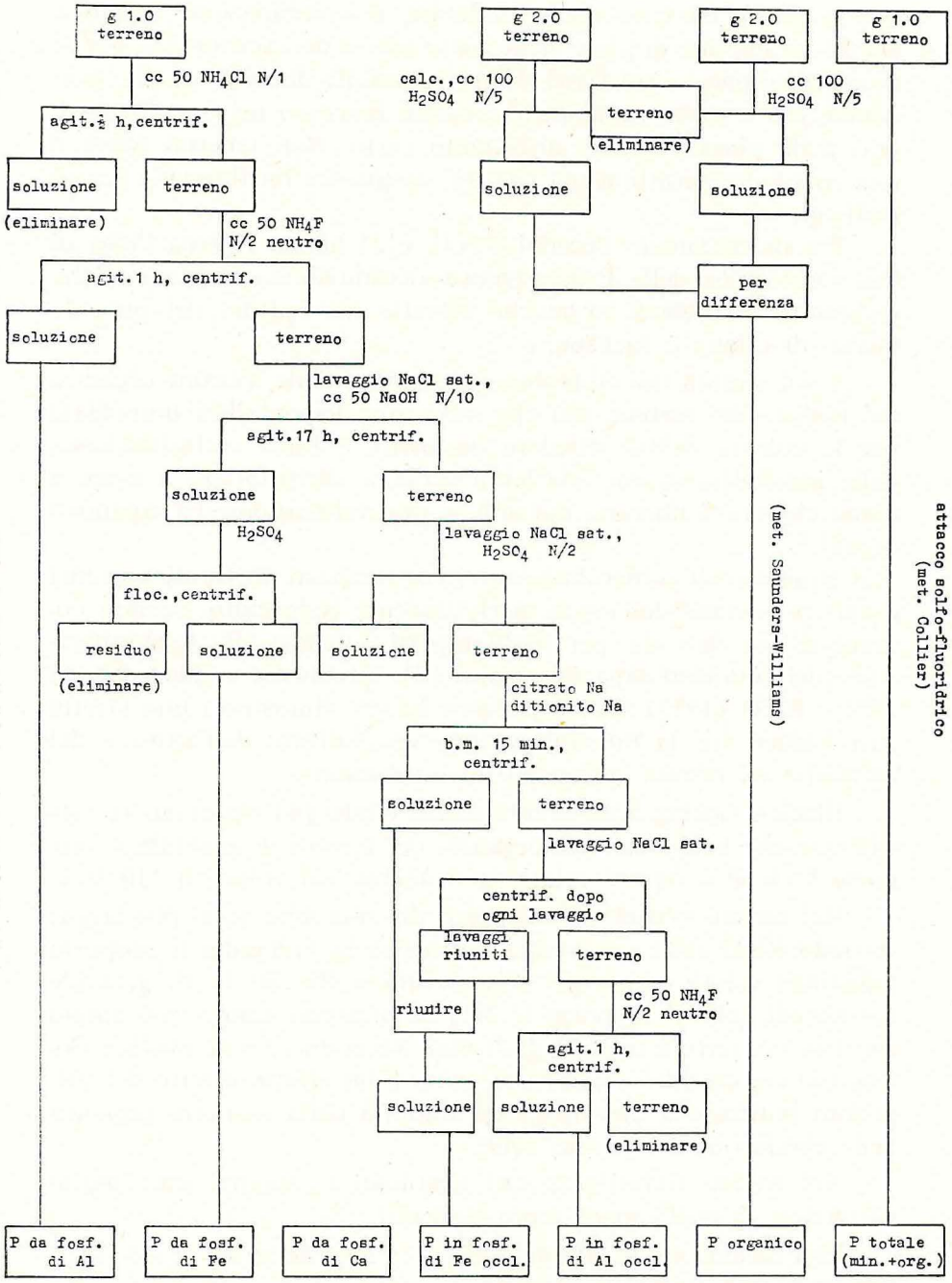


Fig. 3. - Schema delle operazioni analitiche eseguite per il frazionamento del fosforo del terreno, secondo il procedimento di Chang e Jackson. (Tratto, in parte, da Jackson, M. L., «Soil chemical analysis». Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1958, pg. 167)

bile e quindi da ritenersi assimilabile, in combinazione organica, sia da considerare di più e meno lenta azione nei confronti di quello inorganico, pare a noi fuori di ogni possibile dubbio. Ma che esso debba, più o meno rapidamente, essere immesso nel circolo nutritivo della pianta, appare altrettanto certo. Non tenerne conto o non conoscerne esattamente l'entità, costituisce un flagrante errore fisiologico».

Più recentemente Cecconi e coll. (12) hanno ripresa l'idea di una valutazione della P_2O_5 organica «assimilabile» cercando di interpretare le frazioni organiche estratte coi reattivi del procedimento di Chang e Jackson.

A noi sembra che l'interesse agronomico della frazione organica del fosforo del terreno più che sulla sua disponibilità immediata per le colture debba risiedere piuttosto, e forse esclusivamente, nella possibilità di una sua lenta cessione di fosfationi a mano a mano che essi i liberano durante la mineralizzazione dei composti organici.

Il processo di mineralizzazione dei composti fosforati organici è ancora lontano dall'essere perfettamente conosciuto, sembra comunque che esso sia, per molti aspetti, analogo alla mineralizzazione dei composti organici azotati (8). Thompson e Black (1950) (59) e Kaila (1949) (39) avrebbero infatti dimostrato una stretta correlazione fra la mineralizzazione del fosforo, dell'azoto e del carbonio nei terreni sottoposti ad incubazione.

Black e Goring nello studio dianzi citato (4) riportano la conclusione che nella sostanza organica dei terreni in generale il rapporto C : N : P è rappresentato mediamente dai valori di 110 : 9 : 1.

Nei terreni organici il rapporto diventerebbe assai più largo: secondo Kaila (38) nei terreni torbosi della Finlandia il rapporto raggiunge valori molto più elevati fino a 700 : 30 : 1. In generale nei terreni acidi il rapporto C : N : P si presenta sempre più ampio che non nei terreni neutri od alcalini. Secondo i citati Black e Goring (4) ciò sarebbe dovuto non tanto a un effetto diretto del pH, quanto piuttosto a una maggiore stabilità della sostanza organica nelle condizioni dei terreni acidi.

Nei terreni ferrettizzati qui esaminati i rapporti sono molto più stretti di quelli medi sopra riportati.

Essi variano da un minimo di 27 : 3 : 1 a un massimo di 143 : 14 : 1 con un valore medio di 49 : 6 : 1.

L'elaborazione statistica dei risultati mette in evidenza l'esistenza di una correlazione positiva ma di piccola entità fra il C or-

ganico e il P organico e fra l'N totale e il P organico. I coefficienti di correlazione assumono rispettivamente i valori di 0.414 e di 0.264, ambedue di elevata significatività statistica.

Riteniamo che il rapporto C:N:P, nelle loro rispettive forme organiche, che definisce l'evoluzione e l'equilibrio della sostanza organica nei terreni, nelle particolari condizioni pedo-climatiche in cui essi si trovano, possa assumere anche un certo valore di indicazione agronomica nei riguardi delle concimazioni dei terreni.

Probabilmente tutti concordano nell'asserire che la P_2O_5 organica del terreno, mediante processi di liberazione di fosfationi per mineralizzazione e mediante processi di fissazione per organicazione, possa essere un fattore di condizionamento delle quantità «assimilagili» della P_2O_5 in equilibrio con le «riserve accessibili» del terreno e che inoltre possa influire sulla velocità di ricostituzione di tale equilibrio a mano a mano che esso venga rotto per l'assorbimento radicale delle colture.

Ma è l'espressione quantitativa di tali concetti o meglio l'illustrazione della loro dinamica, che non ha trovato ancora una adatta metodica di valutazione.

Per quanto ancora riguarda l'interesse agronomico della P_2O_5 organica del terreno torna opportuno qui far menzione delle ricerche svolte in questi ultimi decenni dai microbiologi russi. Secondo quanto riferisce Cooper (20) in Russia avrebbero largo impiego e buon successo i così detti concimi bacterici. Fra questi la «fosfobacterina», preparata con il *Bacillus megatherium var. phosphaticum,* sarebbe risultata efficace particolarmente nelle terre nere (chernozem) dell'Ucraina molto ricche di fosforo organico. L'azione del bacterio, che si limita alla rizosfera delle piante, consisterebbe nel liberare fosfationi dalle combinazioni organiche.

In proposito ci sembra non fuori luogo citare l'ipotesi, emessa già nel 1931 da Verona e Luchetti (60), secondo cui la nota capacità delle crucifere di utilizzare qualsiasi fonte di fosforo sarebbe da attribuire a una particolare microflora presente nella rizosfera di quelle piante.

Anche nella preparazione della fosfobacterina lo specifico bacterio verrebbe adattato alla rizosfera di determinate piante: le «linee» del bacterio adattate al mais sarebbero risultate molto più attive, nella loro azione mineralizzante del fosforo organico, che non quelle adattate al grano o all'erba medica o ad altre piante coltivate.

Prospetto II

P_2O_5 in mg/Kg di terra fina (a 1 mm) secca all'aria.

Campione n.	Località dei campionamenti	Frazionamento della P_2O_5 inorganica secondo il metodo di Chang e Jackson					P_2O_5 inorganica (per somma)	P_2O_5 organica (met. Saunders-Williams)	P_2O_5 totale (per somma)	P_2O_5 totale (met. Collier)	P_2O_5 di riserva accessibile (met. Lorenz)	P_2O_5 assimilabile (met. Morgan-Peech)	P_2O_5 assimilabile (met. Bray-Kurtz PA_1)	P_2O_5 assimilabile (met. Bray-Kurtz PA_2)
		P_2O_5 di scambio	P_2O_5 legata all'Al	P_2O_5 legata al Fe	P_2O_5 legata al Ca	P_2O_5 occlusa								
1	Romans d'Isonzo	2	47	60	235	25	369	1173	1542	1535	1202	19	7	94
2	Farra	12	165	125	368	247	917	1174	2091	2076	1019	58	52	175
3	Pozzuolo	48	184	256	603	110	1201	779	1980	1963	1910	99	133	311
4	Pozzuolo Via Risano	2	64	65	407	42	581	925	1506	1497	1046	27	9	37
5	Villanova di Farra	9	142	107	368	227	853	1221	2074	2056	1338	19	9	39
6	Villanova S. Lorenzo	3	46	71	249	20	389	1031	1420	1456	937	35	34	117
7	Sammardenchia	2	36	241	183	212	674	780	1454	1481	1210	16	15	50
8	Mainizza	3	44	53	246	46	392	1256	1648	1263	1641	11	11	46
9	Lovaria	30	89	156	110	25	410	373	783	902	740	66	96	140
10	Tavagnacco	1	36	332	89	494	952	686	1638	1697	900	12	17	34
11	Codroipo	8	74	238	166	44	530	407	937	1026	710	13	13	65
12	Moimacco	7	56	136	387	105	691	947	1638	1717	1540	21	30	95
13	Lucinico	2	64	120	185	100	471	1213	1684	1684	1228	29	12	43
14	Mochetta	3	51	30	230	125	439	1289	1728	1713	1038	9	5	35
15	Zompicchia	3	77	312	158	35	585	922	1507	1585	1360	7	23	51
16	Cormóns Bancaria	3	73	130	290	96	592	1124	1716	1704	1143	16	11	116
17	Cormóns Ziris	2	66	127	206	71	472	1545	2017	2018	1895	12	10	59
18	Forcate	3	69	280	189	178	719	1372	2091	2182	1380	11	12	43
	Valore massimo	48	184	332	603	494	1201	1545	2091	2182	1910	99	133	311
	Valore minimo	1	36	30	89	20	369	373	783	902	710	7	5	34
	Valore medio	8	77	158	259	122	624	1012	1636	1663	1214	27	28	86
	Em	±2.8	±10.1	±23.5	±29.8	±27.7	±54.5	±74.7	±85.3	±79.4	±78.4	±5.7	±8.0	±16.4
	Cv %	153	56	63	49	96	37	31	22	20	27	91	123	81

L'attività solubilizzante dei microrganismi sui fosfati insolubili e sul fosforo organico è stata estesamente indagata anche in Italia: in proposito sono da ricordare gli studi di De Grazia e Cerza (24), di Ravenna e Zamorani (54), di Perotti (49) (50) (51), di Verona e Luchetti (60), di Castellani (11), di Politi (53), di Picci (52), di Rotini (55), di Rotini e Carloni (56). Ma di ciò è sufficiente il cenno fatto.

Frazionamento del fosforo inorganico. Il procedimento di Chang e Jackson permette di differenziare, con una certa approssimazione, gruppi di combinazioni fosfatiche di vario significao agronomico e precisamente: 1) fosfati solubili in NH_4Cl *1N* di scambio, normalmente di piccolissima entità ma di immediata disponibilità per le colture; 2) fosfati legati all'alluminio, precipitati o adsorbiti, liberi da rivestimenti protettivi; 3) fosfati legati al ferro, precipitati o adsorbiti, liberi da rivestimenti protettivi: questa frazione, come pure la precedente, deve ritenersi per lo più di scarsa assimilabilità per le colture; 4) fosfati legati al calcio, precipitati od adsorbiti, liberi o protetti da formazioni attaccabili da acidi diluiti (calcare), nelle loro forme più o meno basiche e più o meno facilmente acido-solubili; dal punto di vista agronomico è questa la frazione più importante perchè da essa provengono più facilmente i fosfationi mobili e diffusibili a mano a mano che la loro concentrazione nella fase liquida diminuisce; 5) fosfati di ferro e di alluminio occlusi entro rivestimenti di Fe_2O_3: rappresenta una frazione completamente inerte agli effetti agrari.

Una variante del procedimento, indicata dagli autori stessi, permette di suddividere quest'ultima frazione in fosfati di ferro e fosfati di alluminio. La variante è stata riportata nello schema della figura 3 ma non è stata da noi qui adottata.

Oggi, principalmente in seguito alle ricerche di Osugi e coll. (1932), di Dean (1938), di Stelly e Pierre (1943), di Mattson e coll. (1950), di Chang e Jackson (1957) (33), si ammette generalmente che i fosfati legati al calcio predominino nei terreni calcarei e che nei terreni acidi predominino invece i fosfati legati all'alluminio e al ferro.

Il diagramma della figura 1, tratto da Buckman e Brady (9), illustra chiaramente in forma schematica i rapporti intercorrenti fra le combinazioni inorganiche del fosforo e il pH (stato calcico) dei terreni.

Chang e Jackson (16), in uno studio sul frazionamento del fosforo inorganico di diversi terreni rappresentativi di alcuni gruppi

Prospetto III

Campione n.	Località dei campionamenti	P_2O_5 in % della P_2O_5 inorganica								P_2O_5 in % della P_2O_5 totale			Rapporto N/P org.	Rapporto C org./P org.
		P_2O_5	P_2O_5 legata all'Al	P_2O_5 legata al Fe	P_2O_5 legata al Ca	P_2O_5 occlusa	P_2O_5 assimilabile Morgan-Peech	P_2O_5 assimilabile Bray-Kurtz PA_1	P_2O_5 assimilabile Bray-Kurtz PA_2	P_2O_5 inorganica	P_2O_5 organica	P_2O_5 di riserva accessibile		
1	Romans d'Isonzo	0.5	12.8	16.3	63.6	6.8	5.1	1.9	25.5	23.9	76.1	77.9	3.1	34.5
2	Farra	1.3	18.0	13.7	40.1	26.9	6.3	5.6	19.1	43.8	56.2	48.7	4.3	35.9
3	Pozzuolo	4.0	15.3	21.3	50.2	9.2	8.2	17.1	39.9	60.6	39.4	96.4	4.9	37.7
4	Pozzuolo Via Risano	0.4	11.0	11.3	70.0	7.3	4.6	1.5	6.3	38.6	61.4	69.4	5.0	55.8
5	Villanova di Farra	1.1	16.7	12.5	43.1	26.6	2.2	1.0	4.6	41.1	58.9	64.5	3.3	30.9
6	Villanova S. Lorenzo	0.7	12.0	18.3	63.9	5.1	9.0	8.7	30.0	27.4	72.6	66.0	3.7	32.9
7	Sammardenchia	0.3	5.3	35.8	27.2	31.4	2.4	2.2	7.4	46.4	53.6	83.2	7.2	38.9
8	Mainizza	0.8	11.2	13.6	62.7	11.7	2.8	2.8	11.7	23.8	76.2	76.6	3.2	27.3
9	Lovaria	7.3	21.7	38.0	26.9	6.1	16.1	23.4	34.1	52.4	47.6	94.5	11.8	56.4
10	Tavagnacco	0.1	3.8	34.9	9.3	51.9	1.3	1.8	3.6	58.1	41.9	54.9	6.4	51.2
11	Codroipo	1.5	14.0	44.9	31.3	8.3	2.4	2.4	12.2	56.5	43.5	75.8	10.3	76.6
12	Moimacco	1.0	8.1	19.7	56.0	15.2	3.0	4.3	13.7	42.2	57.8	94.0	5.1	34.4
13	Lucinico	0.4	13.6	25.5	39.3	21.2	6.1	2.5	9.1	28.0	72.0	72.9	4.1	40.8
14	Mochetta	0.6	11.6	6.8	52.5	28.5	2.0	1.1	8.0	25.4	74.6	60.1	3.6	40.5
15	Zompicchia	0.5	13.2	53.3	27.0	6.0	1.2	3.9	8.7	38.8	61.2	90.2	7.0	75.5
16	Cormóns Bancaria	0.6	12.3	22.0	48.9	16.2	2.7	1.8	19.6	34.5	65.5	66.6	3.4	33.0
17	Cormóns Ziris	0.4	14.0	26.9	43.7	15.0	2.5	2.1	12.5	23.4	76.6	93.9	2.9	32.0
18	Forcate	0.4	9.6	38.9	26.3	24.8	1.5	1.7	6.0	34.4	65.6	66.0	14.0	143.1
	Valore massimo	7.3	21.7	53.3	70.0	51.9	16.1	23.4	39.9	60.6	76.6	96.4	14.0	143.1
	Valore minimo	0.1	3.8	6.8	9.3	5.1	1.2	1.0	3.6	23.4	39.4	48.7	2.9	27.3
	Valore medio	1.2	12.4	25.2	43.4	17.8	4.4	4.7	15.1	38.8	61.2	75.1	5.7	48.8

pedologici, poterono rilevare che la distribuzione dei fosfati inorganici è in relazione al grado della decomposizione chimica dei minerali del terreno durante la pedogenesi secondo la sequenza: fosfato di calcio → fosfato di alluminio → fosfato di ferro → fosfato occluso. Confermano così quanto Mattson e coll. (47) avevano precedentemente suggerito e cioè che il fosfato di calcio si trasformasse in fosfato legato ai sesquiossidi in conseguenza dell'aumento di acidità del terreno durante la sua formazione.

I risultati del frazionamento del fosforo inorganico nei terreni ferrettizzati qui considerati sono riportati nel Prospetto 2.

Il fosforo di scambio (P_2O_5 solubile in NH_4Cl *1 N*) varia da un massimo di ppm 48 a un minimo di ppm 1, con un valore medio di 8 ± 2.8. Rappresenta in media l'1.2% della P_2O_5 inorganica, con un minimo dello 0.1% e un massimo di 7.3%.

Questa frazione, pur essendo in generale molto piccola (soltanto in qualche terreno è risultata sensibilmente elevata), è stata tuttavia sempre determinabile, contrariamente a quanto si riscontra nella letteratura per buona parte dei terreni.

La P_2O_5 legata all'alluminio subisce variazioni piuttosto ampie: da un massimo di ppm 184 a un minimo di ppm 36, che rappresentano rispettivamente il 21.7% e il 3.8% della P_2O_5 inorganica. Il valore medio è risultato di ppm 77 ± 10.1, rappresentante il 12.4% della P_2O_5 inorganica.

Le stesse ampie fluttuazioni si rilevano nei fosfati legati al ferro: valore massimo ppm 332, minimo ppm 30, valore medio ppm 158 ± 23.5 che, in % della P_2O_5 inorganica, assumono rispettivamente i valori di: 53.3%, 6.8% e 25.2%.

Complessivamente i fosfati legati al Fe e all'Al rappresentano in media una frazione elevata (37.6%) della P_2O_5 inorganica ma non la frazione predominante.

Nei terreni ferrettizzati della pianura friulana abbondano i sesquiossidi di ferro e alluminio con tenori medi schematici aggirantisi, secondo Comel (19), sul 4 - 5 % per il F_2O_3 e sul 5 - 6 % per il Al_2O_3.

Da recenti nostre ricerche ancora inedite, sarebbe risultato che i ferretti friulani si trovano in uno stato calcico agrariamente soddisfacente pur essendo nella generalità terreni praticamente acalcarei, derivati però dall'alterazione di alluvioni ghiaiose calcaree o calcareo-dolomitiche. La originaria reazione subacida, ad essi conferita dagli stessi processi di ferrettizzazione e ancora riscontrabile negli strati superficiali di terreni vergini, è stata sostituita negli

aratori da una reazione neutra o, assai spesso, subalcalina per apporto di calcare dagli strati sottostanti per mezzo dei lavori d'aratura.

Nei terreni da noi qui considerati il pH oscilla intorno a un valore medio di 7.50 compreso fra un valore massimo di 7.88 e uno minimo di 6.85.

La reazione subalcalina, la predominanza di calcio nel complesso colloidale di scambio, e la presenza, anche in esigue quantità, di calcare fanno già supporre che l'evoluzione più prossima dei fosfati solubili avvenga verso le forme legate al calcio e non verso quelle legate al ferro e all'alluminio pur essendo questi presenti in notevoli quantità.

La ragione della elevata percentuale di P_2O_5 legata al Fe e all'Al e occlusa in formazioni insolubili di Fe_2O_3 (in media 17.8% ma con valori che raggiungono anche il 51.9% della P_2O_5 inorganica) può essere appunto ricercata nella storia pedogenetica dei ferretti. Lo stesso processo di pedogenesi dà ragione anche delle relativamente elevate percentuali, in precedenza indicate, di fosfati legati al Fe e all'Al liberi da rivestimenti protettivi.

Secondo i concetti precedentemente accennati di Mattson e coll. (47) e di Hsu e Jackson (33) questi fosfati dovrebbero costituire le forme più vecchie del fosforo dei nostri terreni. L'evoluzione attuale avverrebbe invece verso la formazione di fosfati di calcio in forme quindi sicuramente più accessibili per le colture.

Nei nostri terreni la frazione predominante è infatti risultata quella legata al calcio: il valore medio di ppm 259 ± 29.8, che rappresenta il 43.4% della P_2O_5 inorganica, è compreso fra un massimo di ppm 603 (70% della P_2O_5 inorganica) e un minimo di ppm 89 (9.3% della P_2O_5 inorganica).

Il valore massimo è stato raggiunto nel terreno del campione n. 4 (Pozzuolo Via Risano) il quale ha, nella serie dei terreni ferrettizzati qui esaminati, il contenuto più elevato di calcare (13%, che rappresenta un tenore anormalmente alto per i nostri terreni ferrettizzati). Alla elevata percentuale di P_2O_5 legata al calcio fa riscontro, nello stesso terreno, anche una bassa percentuale di P_2O_5 occlusa (7.3% della P_2O_5 inorganica).

Il valore minimo, che rappresenta il 9/3% della P_2O_5 inorganica, è segnato dal terreno del campione n. 10 (Tavagnacco) il quale ha, sempre nella stessa serie dei nostri terreni ferrettizzati, il valore più basso di pH (6.85) e la percentuale più alta di P_2O_5 occlusa (51.9% della P_2O_5 inorganica).

Su due terreni di natura prevalentemente calcarea, provenienti dalla Bassa pianura goriziana (Territorio di Monfalcone), sono state eseguite le analisi per il frazionamento della P_2O_5 per contrapporne i risultati con quelli ottenuti sui terreni ferrettizzati, di più antiche alluvioni, considerati invece praticamente acalcarei.

I risultati sono riportati nei Prospetti 4, 5 e 6 (caratteristiche fisiche e chimiche, forme di P_2O_5).

Per quanto il ridottissimo numero dei terreni calcarei analizzati non permetta di disporre di dati medi di un certo valore statistico, riteniamo tuttavia di poter lo stesso confrontare i risultati avuti nei due tipi di terreno, limitando però il significato dei rilievi a una indicazione di largo orientamento.

Dal confronto si rileva:

1) le forme di P_2O_5 legate al Fe e all'Al non protette da rivestimenti ferrosi si trovano in percentuale minore nei terreni calcarei;

2) le percentuali delle forme di P_2O_5 legate al Fe e all'Al ed occluse in composti ferrosi si equivalgono nei due tipi di terreno;

Prospetto IV

	Terranova d'Isonzo	Isola Morosini
Sulla terra secca all'aria:		
Scheletro (> 1 mm)	0.00	0.00
Terra fina (< 1 mm)	100.00	100.00
Sulla terra fina (a 1 mm) secca all'aria:		
Particelle con diam. > 0.02 mm	29.25	51.10
» » » da 0.02 a 0.002 mm	61.35	40.40
» » » < 0.002 mm	9.40	8.50
pH (in H_2O; 1:5; potenz.)	8.01	7.95
Calcare	42.00	40.00
Azoto totale	0.175	0.158
Carbonio organico (Walkley - Black)	1.83	1.92
Rapporto C org./N	10.4	12.1
Sostanza organica da N (N × 20)	3.50	3.16
Sostanza organica da C (C × 1.73)	3.15	3.30
K_2O sol. in HCl conc. e boll.	0.132	0.120

Prospetto V

	Terranova d'Isonzo	Isola Morosini
Frazionamento della P_2O_5 inorganica sec. Chang e Jackson:		
P_2O_5 di scambio	5	8
P_2O_5 legata all'Al	19	29
P_2O_5 legata al Fe	10	13
P_2O_5 legata al Ca	481	514
P_2O_5 occlusa	135	105
P_2O_5 inorganica (per somma)	650	669
P_2O_5 organica (met. Saunders - Williams)	526	761
P_2O_5 totale (per somma)	1176	1430
P_2O_5 totale (met. Collier)	1179	1436
P_2O_5 di riserva accessibile (met. Lorenz)	1164	787
P_2O_5 assimilabile (met. Morgan - Peech)	11	16
P_2O_5 assimilabile (met. Bray - Kurtz PA_1)	6	9
P_2O_5 assimilabile (met. Bray - Kurtz PA_2)	14	14

3) nei terreni ferrettizzati la frazione di P_2O_5 legata al Ca, pur non toccando l'elevato valore trovato nei terreni calcarei (75% della P_2O_5 inorganica), è tuttavia presente in percentuali di notevole entità (in media il 43% della P_2O_5 inorganica).

Fosforo «prontamente assimilabile». È stato estratto col reattivo di Morgan e coi reattivi n. 1 e n. 2 di Bray e Kurtz.

Le quantità estratte sono risultate molto esigue. Si osservano infatti le seguenti percentuali in relazione alla P_2O_5 inorganica: col reattivo di Morgan: un valore medio di 4.4%, con un massimo di 16.1% (camp. n. 9, Lovaria) e un minimo di 1.2% (camp. n. 15, Zompicchia); col reattivo di Bray e Kurtz PA 1: un valore medio di 4.7%, con un massimo di 23.4% (camp. n. 9, Lovaria) e un minimo di 1.0% (camp. n. 5, Villanova di Farra); col reattivo di Bray e Kurtz PA 2: un valore medio di 15.1%, con un massimo di 39.9% (camp. n. 3, Pozzuolo) e un minimo di 3.6% (camp. n. 10, Tavagnacco).

I risultati analitici dei tre metodi sono positivamente e altamente correlati fra loro. Le correlazioni statistiche sono espresse dai seguenti coefficienti:

$$\text{Morgan} \times \text{Bray-Kurtz PA 1} = 0.941 \pm 0.018$$

$$\text{Morgan} \times \text{Bray-Kurtz PA 2} = 0.904 \pm 0.029$$

I coefficienti sono altamente significativi (oltre il livello di P 0.01).

I risultati confermano quanto era già stato messo in evidenza in un nostro precedente studio (10).

Considerando il modo di attacco che svolgono i reattivi usati crediamo di dover ritenere che non possa esistere una semplice correlazione diretta fra le quantità estratte da quei reattivi e le quantità di P_2O_5 di ciascuna delle forme del frazionamento di Chang e Jackson.

Per quanto riguarda il reattivo di Morgan è lecito infatti supporre che, per il suo carattere acido, solubilizzi, oltre che carbonati e fosfati di Ca, anche certe forme di Fe e di Al liberando così ioni fosfatici ad esse legati.

Prospetto VI

	Terranova d'Isonzo	Isola Morosini
P_2O_5 in % della P_2O_5 inorganica:		
P_2O_5 di scambio	0.8	1.2
» legata all'Al	2.9	4.4
» legata al Fe	1.5	1.9
» legata al Ca	74.0	76.8
» occlusa	20.8	15.7
» assimilabile met. Morgan - Peech	1.7	2.4
» » met. Bray - Kurtz PA_1	0.9	1.3
» » met. Bray - Kurtz PA_2	2.1	2.1
P_2O_5 in % della P_2O_5 totale:		
P_2O_5 inorganica per somma	55.3	46.8
» organica met. Saunders - Williams	44.7	53.2
» di riserva accessibile met. Lorenz	99.0	55.0
Rapporto N/P org.	7.6	4.7
Rapporto C org./P org.	79.9	57.8

L'ione F^- dei reattivi di Bray e Kurtz complessa, in soluzione acida, il Fe^{3+} e l'Al^{3+} liberando conseguentemente la P_2O_5 da tali ioni trattenuta. L'HCl presente nei reattivi, oltre che conferire ad essi il necessario carattere acido (il fluoroferrato sarebbe instabile in soluzione neutra od alcalina), esplica una energica azione solubilizzante dei fosfati di Ca. L'HCl svolge inoltre la funzione di impedire la precipitazione (come fosfati di Ca) della P_2O_5 liberata in conseguenza della complessazione del F col Fe (fluoroferrato) e con l'Al (fluoroalluminato).

Gli Autori hanno raccomandato due reattivi: uno (PA 1, formato da NH_4F *0.03 N* e HCl *0.025 N*) per la valutazione della P_2O_5 adsorbita e un altro (PA 2, formato da NH_4F *0.03 N* e HCl *0.1 N*) per la valutazione della P_2O_5 acido-solubile unitamente alla P_2O_5 adsorbita. Secondo gli stessi Autori coi due reattivi si determinerebbe «la parte prontamente solubile di ciascuna forma del fosforo disponibile del terreno».

Solamente uno studio più approfondito delle forme di P_2O_5 frazionate e delle loro relazioni con alcune proprietà dei terreni, potrebbe fornire indicazioni sulla varia solubilità delle forme chimicamente frazionate, indicazioni di evidente grande interesse per la valutazione della fertilità fosfatica dei nostri terreni.

In tal senso sono già state orientate le nostre ricerche.

BIBLIOGRAFIA

(1) Barbier, G., Chabannes, J., Miallet, P., *Ann. Agr., 1, 7-33, 1946*

(2) Bertramson, B. R., Stephenson, R. E., *Soil Sci. 53, 215-226, 1942*

(3) Bhangoo, M. S., Smith, F. W., *Agron. J., 49, 354-358, 1957*

(4) Black, C. A., Goring, C. A. I., Organic phosphorus in soils. In «Pierre, W. H., e Norman, A. G., Edit., Soils and Fertilizer phosphorus in crop. nutrition.», 123-152, *Academic Press. Inc., New York, 1953*

(5) Blanchet, R., *Ann. Agron., 1, 55-74, 1960*

(6) Bower, C. A., *Iowa Agr. Expt. Sta. Research Bull., 362, 1949*

(7) Bray, R. H., Dickman, S. R., *Soil Sci. Soc. Am. Proc., 6, 312-320, 1941*

(8) Broadbent, F. E., The soil organic fraction. In «Norman, A. G., Edit., Advances in Agronomy», *V, 179, Academic Press, New York, 1953*

(9) Buckman, H. O., Brady, N. C., The nature and properties of soils. *Macmillan Co., New York, 1960*

(10) Candussio, R., Visintini Romanin, M., *Ann. Sper. Agr., XIV, 211-231, 1960*

(11) Castellani, E., *Atti VI Congr. Naz. Microbiol., pag. 730, Milano, 1937*

(12) Cecconi, C. A., Sadun, G., Martinelli, M., *Atti Acc. dei Georgofili, V, 307-335, 1958*

(13) Chai Moo Cho, Caldwell, A. C., *Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23, 458-460, 1959*

(14) Chaminade, R., *Ann. Agron., 14, 1-53, 1944*

(15) Chang, S. C., Jackson, M. L., *Soil Sci., 84, 133-144, 1957*

(16) Chang, J. S., Jackson, M. L., *J. Soil Sci., 9, 109-119, 1958*

(17) Chirikov, F. V., Volkova, V. V., *Soil and fertilizers, 8, 78-79, 1945*

(18) Collier, D., *Ann. Agron., 3, 352-364, 1945*

(19) Comel, A., *An. Sper. Agr., 33, 29, 1939*

(20) Cooper, R., *Soil and fertilizers., 22, 327-333, 1959*

(21) Dean, L. A., *J. Agr. Sci., 28, 234-246, 1938*

(22) Dean, L. A., Fixation of soil phosphorus. In «Norman, A. G., Edit., Advances in agronomy», *I, 391-411, Academic Press, New York, 1949*

(23) Dean, L. A., Rubins, E. J., *Soil Sci., 59, 437-448, 1945*

(24) De Grazia, S., Cerza, U., *Staz. Sper. Agr., 39, 1817, 1907*

(25) Eid, M. T., Black, C. A., Kempthorne, O., *Soil Sci., 71, 361-370, 1951*

(26) Fabris, A., Albonico, F., *Studi sassaresi, I, 21-95, 1953*

(27) Ferrari, C., *Relaz. Soc. Inter. Scienza del Suolo, Dublino, 1952*

(28) Fried, M., Shapiro, R. E., Soil plant relationships in ion uptake. *Annual reviews Inc., Palo Alto, U.S.A., 1961*

(29) Ghani, M. O., *Ind. J. Agric. Sci., 13, 29-45, 1943*

(30) Glenn, R. C., e altri, citato in Hsu, P. H., Jackson, M. L., *Soil Sci., 90, 16-24, 1960*

(31) Hemwall, J. B., The fixation of soil phosphorus. In «Norman, A. G., Edit., Advances in agronomy», *Vol. IX, 95-112, Academic Press, New York, 1957*

(32) Honert, (Van Den), T. H., *Versl. Vergad. Vereen, Proefsta. Personeel, 13, 7, 1933* citato in: Russell, E. Y., Soil conditions and plant growth. *Longmans, Green Co., London, 1958*

(33) Hsu, P. H., Jackson, M. L., *Soil Sci., 90, 16-24, 1960*

(34) Islam, M. A., *Soil Sci., 79, 115-121, 1955*

(35) Islam, M. A., *Soil Sci., 81, 439-442, 1956*

(36) Jackson, M. L., Soil Chemical Analysis. *Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1958*

(37) Jenny, H., Overstreet, R., *Soil Sci., 257-272, 1939*

(38) Kaila, A., *Valtion Maatalouskoetoiminnan Julkaisuja, 129, 1948,* citato in Black e Goring (Vedi n. 4 della presente Bibliografia)

(39) Kaila, A., *Soil Sci., 68, 279-289, 1949*

(40) Kardos, L. T., Soil fixation of plant nutrients. In «Bear, F. E., Edit., Chemistry of the soil», *177-199, Reinhold Publ. Co., New York, 1955*

(41) Khin Aung, Leeper, G. W., *Agrochimica, IV, 246-254, 1960*

(42) Low, P. F., Black, C. A., *Soil Sci. Soc. Am. Proc., 12, 180-184, 1947*

(43) Lucena-Conde, F., Martinez de Pancorbo, A., *An. Edaf. y Agrobiol., XIX, 49-68, 1960*

(44) Mac Intire, W. H., Winterberg, S. H., Hardin, L. J., Sterges, A. J., Clements, L. B., *Soil Sci., 66, 249-257, 1948*

(45) Malquori, A., Radaelli, L., Cecconi, S., *Agrochimica, 3, 16-28, 1958*

(46) Malquori, A., Radaelli, L., *Agrochimica, 4, 288-298, 1960*

(47) Mattson, S., Williams, E. G., Barkoff, E., *Ann. Roy. Agr. Coll., Sweden, 17, 130-140, 1950 e 17, 222-246, 1950:* Consultati i riassunti nei «Chemical Abstracts»

(48) Patel, J. M., Mehta, B. V., *Soil Sci. Soc. Am. Proc., 25, 190-192, 1961*

(49) Perotti, R., Sul ciclo biochimico dell'anidride fosforica nel terreno agrario. *Roma, 1909*

(50) Perotti, R., *Rend. Soc. Chim. It., Roma, 1910*

(51) Perotti, R., *R. Acc. Lincei, XXX, 1921*

(51 bis) Petrosini, G., *Agrochimica, 3 66-82 -1958*

(52) Picci, G., *Ann. Fac. Agr. Univ. Pisa, 13, 187-196, 1952*

(53) Politi, I., *Ann. Microbiol., II, 23-30, 1941*

(54) Ravenna, C., Zamorani, M., *Staz. Sp. Agr. It., 42, 389, 1909*

(55) Rotini, O. T., *Ann. Fac. Agr. Univ. Pisa, n. s., XII, 159, 1951*

(56) Rotini, O. T., Carloni, L., *Ann. Sper. Agr., VII, 1789-1799, 1953*

(57) Saunders, W. M. H., Williams, E. G., *J. Soil Sci., 6, 254, 1955*

(58) Spencer, V. E., Stewart, R., *Soil Sci., 38, 65-79, 1934*

(59) Thompson, L. M., Black, C. A., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 14, 147-151, 1950*

(60) Verona, O., Luchetti, G., *Boll. R. Ist. Sup. Agr. Pisa, 7, 387-391, 1931*

(61) Williams, C. H., *J. Agric. Sci., 40, 233-242, 1950*

(62) Williams, C. H., *J. Agric. Sci., 40, 243-256, 1950*

(63) Williams, E. G., *Agrochimica, 3, 279-309, 1959*

RIASSUNTO

Le ricerche, di cui vien riferito in questa nota, hanno lo scopo di portare un contributo alla conoscenza del complesso fosforico dei terreni ferrettizzati della pianura friulana in relazione al loro comportamento agronomico di fronte alle concimazioni fosfatiche e ai livelli della loro fertilità fosfatica.

Impostato il problema della individuazione delle forme fosfatiche presenti nei terreni, vengono esposti e discussi i risultati del frazionamento della P_2O_5 eseguito secondo il procedimento di Chang e Jackson su 18 terreni ferrettizzati acalcarei campionati su altrettanti campi sperimentali di concimazione fosfatica nella pianura friulana.

La P_2O_5 totale (metodo Collier) è presente con un tenore medio di mg/Kg 1663 ± 79 compreso fra un massimo di mg/Kg 2182 e un minimo di mg/Kg 902.

La P_2O_5 organica (met. Saunders-Williams) rappresenta in media il 61.2% della P_2O_5 totale, con una percentuale massima di 76.6% e una minima di 39.4%.

Il rapporto C:N:P (forme organiche) assume un valore medio di 49:6:1 (massimo 143:14:1, minimo 27:3:1). Fra il C organico e il P organico esiste una correlazione positiva significativa (P 0.01) ma non elevata ($r = +0.414$). Fra l'N organico e il P organico la correlazione, positiva e significativa (P 0.01), è ancora più bassa ($r = +0.264$).

Nella frazione inorganica (che è in media il 38.8% della P_2O_5 totale) predomina la P_2O_5 legata al Ca.

Le frazioni inorganiche assumono i seguenti valori espressi in % della P_2O_5 inorganica totale:

- *P_2O_5 di scambio: medio 1.2%, massimo 7.3%, minimo 0.1%;*
- *P_2O_5 legata all'Al, libera da rivestimenti protettivi: medio 12.4%, massimo 21.7%, minimo 3.8%;*
- *P_2O_5 legata al Fe, libera da rivestimenti protettivi: medio 25.2%, massimo 53.3%, minimo 6.8%;*
- *P_2O_5 legata al Ca, libera o protetta da formazioni attaccabili da acidi diluiti: medio 43.4%, massimo 70.0%, minimo 9.3%;*
- *P_2O_5 legata al Fe e all'Al, occlusa entro rivestimenti ferrosi: medio 17.8%, massimo 51.9%, minimo 5.1%.*

Le quantità di P_2O_5 «prontamente assimilabile» estratte col reattivo di Morgan e coi reattivi PA 1 e PA 2 di Bray e Kurtz, sono risultate molto esigue. Espresse in % della P_2O_5 inorganica hanno assunto i seguenti valori:

- *col reattivo di Morgan: medio 4.4%, massimo 16.1%, minimo 1.2%;*
- *col reattivo PA 1 di Bray e Kurtz: medio 4.7%, massimo 23.4%, minimo 1.0%;*
- *col reattivo PA 2 di Bray e Kurtz: medio 15.1%, massimo 39.9%, minimo 3.6%.*

I dati analitici dei tre metodi sono risultati positivamente e altamente correlati fra loro.

Tipografia Budin - Gorizia 1963